

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-126160

(43)Date of publication of application : 15.05.1998

(51)Int.Cl.

H03C 3/10

H03C 1/08

H03H 9/17

H04R 17/00

(21)Application number : 09-269024

(71)Applicant : NOKIA MOBILE PHONES LTD

(22)Date of filing : 01.10.1997

(72)Inventor : ELLA JUHA

(30)Priority

Priority number : 96 720696

Priority date : 02.10.1996

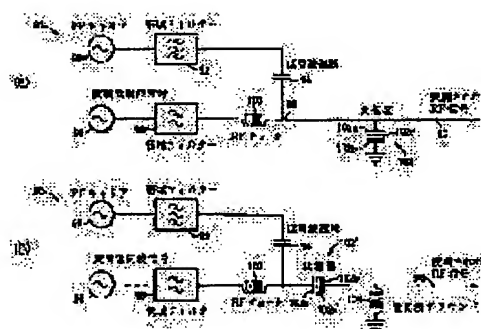
Priority country : US

## (54) DEVICE CONTAINING CONTROLLABLE THIN-FILM BULK ACOUSTIC RESONATOR FOR AMPLITUDE AND PHASE MODULATION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a low-frequency amplitude modulator or a low-frequency phase modulator by using a controllable BAW(bulk acoustic wave) resonator, which shifts the resonance frequency according to the applied voltage.

SOLUTION: A BAW resonator 102 consisting of a piezoelectric layer and protective layer electrodes, etc., is constructed on a substrate by means of a prescribed material and process. Then the resonator 102 is built into an amplitude modulation circuit 91 as a modulator. When the modulating low-frequency signal, which is produced by an oscillator 96 is filtered by an LPF 98 and an RF choke 100 and applied between the electrodes 102a and 102b of the resonator 102, an electric field is generated on a piezoelectric layer 102c and vibration time-wise varying according to the signals is produced. A prescribed RF carrier signal that is produced by an oscillator 90 is filtered and applied to the resonator 102. The carrier signal is attenuated by the resonance frequency, as well as the impedance caused by the low-frequency signal of the resonator 102. Then the amplitude modulation is carried out. In a phase modulation mode, the oscillation frequency of the oscillator 90 is set almost equal to the parallel resonance frequency of the resonator 102. Then the phase shift is carried out.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

13.02.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

BEST AVAILABLE COPY

[0018] A bulk acoustic wave (BAW) resonator is provided according to another embodiment of the present invention. The method is consisted of the following steps: (A) forming of a zinc-oxide (ZnO) layer in a selected part in the substrate; (B) forming of a 1st layer which is formed of SiO<sub>2</sub> in the selected part according to the step (A); (C) forming of a second layer which is formed of SiO<sub>2</sub> in a part between the selected part of the layer formed according to the step (B) and the selected part in the substrate; (D) forming a lower electrode layer in the selected part formed according to the step (C); (E) forming a piezoelectric layer in the selected part formed according to the steps C and D; (F) vapor-depositing SiO<sub>2</sub> onto the selected part in the layer formed according to the steps C, D, and E; (G) vapor-depositing Aluminium nitride (AlN) onto the layer formed of SiO<sub>2</sub> on the surface according to the step F; (H) forming a pattern of the SiO<sub>2</sub> and AlN, which are vapor-deposited according to the step F and G, and respectively forming a third layer formed of SiO<sub>2</sub> and an another layer formed of AlN; (I) forming an upper electrode layer in the selected area of the layer formed of AlN and the selected area of the piezoelectric layer formed according to the step E; (J) removing the ZnO layer formed according to the step A to form an air gap.

25

[0024] The phase modulation of the carrier signal can also be carried out by using the 1st and 2nd circuits described above. For the purpose, the circuits operate similar to the case of amplitude modulation. However, an RF carrier which has a desirable frequency approximately equal to the parallel resonating frequency of the resonator which is connected in parallel is generated for the 1st circuit.

30

This frequency is a frequency to which the resonator obtains the greatest phase shift response as a result of the effect of a modulation low frequency signal to the resonator. Therefore, if a carrier signal is impressed to the resonator, the phase of the signal will be shifted. Similarly, for the 2nd circuit where the resonator has a serial connection, the RF signal which has a frequency approximately equal to the series resonating frequency of the resonator is generated. This frequency is a frequency which responds to a modulation low frequency signal to cause the above-described resonator to produce the maximum phase shift. In the manner described above, if the RF carrier signal is impressed to the resonator, the phase shift of the carrier signal will be generated.

15

[0054] The next step of the production process includes the operation which vapor-deposits  $\text{SiO}_2$  (e.g., PECVD method using  $\text{SiO}_2$ ) onto the part as which a selected area of the 2nd  $\text{ZnO}$  layer 52, a selected area of the  $\text{SiO}_2$  layer 48', and a selected part of the 1st lower electrode section 50. Then, in order to form an etching stop layer,  $\text{AlN}$  is vapor-deposited onto the  $\text{SiO}_2$  layer, which has been newly vapor-deposited. Next, by using the 5th mask layer (oxide protective coat (oxide passivation)), newly vapor-deposited  $\text{AlN}$  and  $\text{SiO}_2$  are formed into a pattern by wet-etching in the inside of F plasma. Then, as shown in FIG. 22 (a) to FIG. 22 (d), the  $\text{AlN}$  layer 56 (see the black line) and the 3rd  $\text{SiO}_2$  layer 54 are respectively deposited. The FIG. 22 is an explanatory view showing other examples of the resonator of the present invention. The FIG. 22 (a) is a cross sectional view of the F-F line of the FIG. 22 (b), and the FIG. 22 (c) is a cross sectional view of the

30

G-G line of the FIG. 22 (b). Moreover, the FIG. 22 (d) is the explanatory view expanding to show the area shown by H in the FIG. 22 (c). The 3rd SiO<sub>2</sub> layer has the thickness of 300nm, for example. The AlN layer 56 has the thickness of 500nm, for example. In order to ensure that the 1st lower electrode section 50 does not receive damage, it must be cautious of slight error etching to be occurred. As the result of the pattern-forming step described hereinabove, a part 52a of the top front surface of the 2nd ZnO layer 52, and a part 50a (see FIG. 22(a)) of a top front surface of the 1st lower electrode section 50 will be exposed to air. Moreover, due to this pattern-forming step, a part of the layers 54 and 56 are removed, and a part of the top front surface of the SiO<sub>2</sub> layer 48' will be exposed to air. For example, with reference to the FIG. 22 (d), the side surfaces 54a and 54b of the layers 54 and 56 will be formed according to the pattern-forming step. The side surfaces 54a and 54b have only 30  $\mu$ m distant from each other in a horizontal direction. Therefore, openings A' and B' (also referred to as "etching windows") will be formed in the both sides of the piezoelectric layer 52 of this configuration, and a part of SiO<sub>2</sub> layer 48' top front face will be exposed to air.

[0055] It should be noted that the dimension ratio of each part shown in FIGS. 21 (c) and 22 (d) is one embodiment of the dimension ratio of the configuration of the resonator in the present invention, and it is not limited to the embodiment described above. It should be noted that even though the dimension shown in the FIG. 22 (d) describes only the resonator part, it is not limited to this, and the dimension is to describe similar parts of the resonator in

the present invention.

[0056] The FIGS. 23 (a) -23(c) are for the ease of understanding more detailed manufacturing steps. The FIG. 23 is the explanatory view showing other examples of the resonator of the present invention. The FIG. 23 (a) is a cross-sectional view showing the I-I line of the FIG. 23 (b), and the FIG. 23 (c) is a cross-sectional view showing the J-J line of the FIG. 23 (b). The 2nd layer parts (hereinafter, also referred to as the "2nd lower electrode section") 60 of the upper electrode 58 and a lower electrode is formed by forming a pattern of the molybdenum (Mo) by (a) sputtering a selected part of the 2nd ZnO layer 52, a selected part of the AlN layer 56, and a selected part of the first lower electrode part 50 with Mo, and then, (b) etching in the F plasma using the 6th masking layer (not shown). The upper electrode 58 and the 2nd lower electrode section have the thickness of 300nm. Then, a selected part of the SiO<sub>2</sub> layer 48', which covers the cushion section (for example, cushion edges 44a and 44b) of the 1st ZnO layer 46 is removed by deep-etching. The 3rd SiO<sub>2</sub> layer 54 remains to be protected by the AlN layer 56. Next, a protective photoresist is removed in the oxygen plasma. The following step includes the process which forms beer halls 41 and 43 (see FIG. 24 (b)) by the forming a pattern after spinning beer halls 41 and 43 on a protective photoresist and etching beer halls 41 and 43 in the 7th masking layer (not shown). The FIG. 24 is an explanatory view showing other embodiments of the resonator in the present invention. The FIG. 24 (a) is a cross-sectional view showing the K-K line of the FIG. 24 (b), and the FIG. 24 (c) is a cross-sectional view showing the L-L line of the FIG. 24 (b).

[0057] Next, by performing sawing between chips or between wafers as required, a concave is formed in the shape of a dice, and then, a photoresist is removed, for example in an acetone. Moreover, with reference to the 24 (a) to the 24 (c), an air gap 62 is formed by removing the ZnO layer 46 after etching opening A' and B' in diluted  $\text{HAc} + \text{H}_3\text{PO}_4$ . After these steps of manufacturing process are completed, the operating characteristics of the resonator can be examined using a testing device. Moreover, a part of molybdenum can be removable from the upper electrode 58 and the 2nd lower electrode section 60 by etching in F plasma as required. After the steps described above are completed, a wafer can be formed into chips by cleaving along the concaves formed according to the step described above.

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-126160

(43) 公開日 平成10年(1998) 5月15日

(51) IntCl <sup>5</sup>	識別記号	FI
H03C 3/10		H03C 3/10
		1/08
H03H 9/17		H03H 9/17
H04R 17/00	330	H04R 17/00
		F
		330K

審査請求 未請求 請求項の数15 OL (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願平9-269024  
 (22) 出願日 平成9年(1997)10月1日  
 (31) 優先権主張番号 08/720,696  
 (32) 優先日 1996年10月2日  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

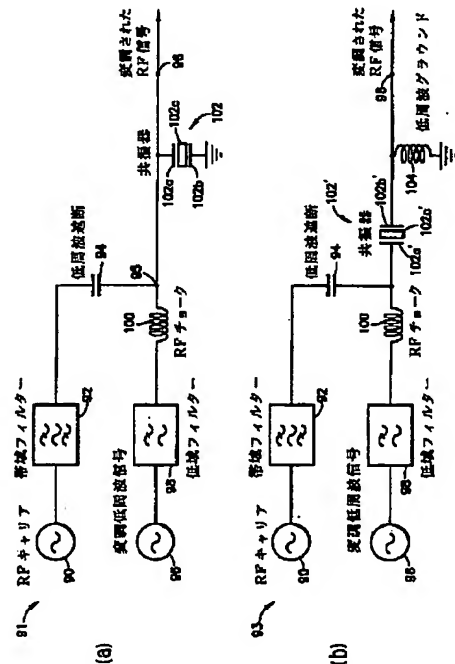
(71) 出願人 591138463  
 ノキア モービル フォーンズ リミテッド  
 NOKIA MOBILE PHONES LTD.  
 フィンランド共和国、02150 エスポー、  
 ケイララハデンチエ 4  
 (72) 発明者 ユハ エラ  
 フィンランド共和国、24260 サロ、チュ  
 ーネランクタ 5 アスント 7  
 (74) 代理人 弁理士 朝日奈 宗太 (外1名)

(54) 【発明の名称】 振幅変調および位相変調を行うための整調可能な薄膜バルク型音響共振器が組み込まれている装置

(57) 【要約】

【課題】 所望の信号を振幅変調または位相変調するための整調可能なBAW共振器を組み込んだ装置を提供する。

【解決手段】 基板と、共振手段と、前記共振手段の第1の面に隣接する第1電極と、前記共振手段の第2の面に隣接する第2電極と、前記第2電極および前記基板間に位置する膜と、1対のエッチング窓と、前記基板の少なくとも一部分を前記膜の少なくとも一部分から隔てるエアギャップとからなり、前記エアギャップが、前記エッチング窓を通して前記基板の一部分を除去することにより形成され、前記共振手段が、前記の第1および第2の電極間に印加された電圧によって当該電極間に生じた電界に共振して共振し、前記エアギャップが、前記共振手段により生成された振動を前記基板から絶縁するバルク型音響共振器から絶縁する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、共振手段と、前記共振手段の第1の面に隣接する第1電極と、前記共振手段の第2の面に隣接する第2電極と、前記第2電極および前記基板間に位置する膜と、1対のエッチング窓と、前記基板の少なくとも一部分を前記膜の少なくとも一部分から隔てるエアギャップとからなり、前記エアギャップが、前記エッチング窓を通して前記基板の一部分を除去することにより形成され、前記共振手段が、前記の第1および第2の電極間に印加された電圧によって当該電極間に生じた電界に

10 応答して共振し、前記エアギャップが、前記共振手段により生成された振動を前記基板から絶縁するバルク型音波共振器。

【請求項2】 前記膜が第1層および第2層からなる請求項1記載のバルク型音波共振器。

【請求項3】 前記第1層がポリシリコンおよび窒化アルミニウムのうちの少なくとも一方からなり、前記第2層は二酸化ケイ素およびヒ化ガリウムのうちの少なくとも一方からなる請求項2記載のバルク型音波共振器。

【請求項4】 前記の第1および第2の電極が金からなる請求項1記載のバルク型音波共振器。

【請求項5】 前記共振手段が、酸化亜鉛および窒化アルミニウムのうちの少なくとも一方からなる請求項1記載のバルク型音波共振器。

【請求項6】 前記基板が、ケイ素、二酸化ケイ素、ヒ化ガリウムおよびセラミック材料のうちの少なくとも1つからなる請求項1記載のバルク型音波共振器。

【請求項7】 時間的に変化する電圧を有する低周波信号を発生させる可変電圧発振器と、前記可変電圧発振器に結合されて、電圧の作用によって変化する周波数で並列共振および直列共振を示す整調可能な共振器と、前記可変電圧発振器から出力される信号に

20 応答して前記整調可能な共振器が示す並列共振周波数と直列共振周波数との間にある周波数を有するRFキャリア信号を発生させるための手段とからなり、前記可変電圧発振器から出力される低周波信号および前記RFキャリア信号発生手段から出力されるRFキャリア信号との両方に

25 応答して、前記整調可能な共振器は、変調を行う前記低周波信号の時間的に変化する電圧の作用によって、ある量だけ前記RFキャリア信号を減衰させることにより該RFキャリア信号を振幅変調する振幅変調回路。

【請求項8】 前記共振器が前記回路内で並列構成および直列構成のうちの一方

30 信号を発生させるための可変電圧信号発振器と、前記可変電圧信号発振器から出力される変調低周波信号に

【請求項11】 前記RFキャリア信号発生手段が、前記整調可能な共振器が前記回路内で並列構成で接続されているばあいには、前記並列共振周波数に実質的に等しい周波数を有する信号を発生させ、前記RFキャリア信号発生手段が、前記整調可能な共振器が前記回路内で直列構成で接続されているばあいには、前記直列共振周波数を有する信号を発生させる請求項10記載の位相変調回路。

【請求項12】 印加された時間的に変化する電圧の作用によって、ある量だけ変化する並列共振周波数および直列共振周波数を示す整調可能な共振器に、時間的に変化する電圧を有する変調低周波信号を印加するステップと、前記並列共振周波数と前記直列共振周波数との間にある周波数を有するRFキャリア信号を前記整調可能な共振器に印加するステップとからなり、前記ステップに

【請求項13】 前記RFキャリア信号が、前記共振器が前記変調低周波信号に

【請求項14】 信号を位相変調する方法であって、時間的に変化する電圧を有する変調低周波信号を整調可能な共振器に印加するステップを有し、当該整調可能な共振器が、前記変調低周波信号に



【請求項15】 前記RFキャリア信号が、前記整調可能な共振器が直列に接続されているばあいには、前記直列共振周波数に実質的に等しい周波数を有し、前記RFキャリア信号が、前記整調可能な共振器が並列に接続されているばあいには、前記並列共振周波数に実質的に等しい周波数を有する請求項14記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、バルク型の音響共振器 (bulk acoustic resonators) に関し、とくに、信号を振幅変調および位相変調するためのバルク型音響共振器に関する。

【0002】

【従来の技術および発明が解決しようとする課題】整調可能なバルク型音響共振器を設けることが当該技術分野で知られている。ストークス他 (stokes et al.) に対して発行された米国特許第5, 446, 306号明細書は、薄膜電圧整調半導体バルク型音響共振器 (Thin Film Voltage-Tuned Semiconductor Bulk Acoustic Resonator) を開示している。この装置は、第1および第2の電極間に位置する圧電フィルムを有する。その第2の電極は、ビアホール (via hole) を有する基板に隣接している。DCバイアス電圧を前記第1および第2の電極に印加する可変電圧源にตอบสนองして、前記第1および第2の電極間で前記圧電フィルムの中で電界が生じる。その結果として、前記圧電フィルムは、その無バイアス時の共振周波数とは異なる周波数で振動する。DCバイアス電圧を調節することによって、このSBAR (半導体バルク型音響共振器 (Semiconductor Bulk Acoustic Resonator)) の共振周波数を変化させることができる。

【0003】コシンスキー (Kosinski) に対して発行された米国特許第5, 153, 476号明細書は、圧電音響振動子上にバイアス電極を設けて該音響振動子の感度を変化させるとともに、該音響振動子に加わる音響ストレスを補償することを開示している。このバイアス電極を静DC電圧源によって生かすことができ、また、前記バイアス電極を動バイアス構成中で使用して、変化する環境条件に対して瞬時補償を行うこともできる。

【0004】アヴァニック他 (Avanie et al.) に対して発行された米国特許第5, 166, 646号明細書は、共通半導体キャリア (common semiconductor carrier) を含む整調可能な集積共振器 (integrated tunable resonator) を開示しており、このキャリア上に集積電圧可変コンデンサが形成されている。その共通半導体キャリア上にバルク型音波共振器が形成されて、前記電圧可変コンデンサに結合される。この電圧可変コンデンサに薄膜共振器が結合されるが、その両方が共通半導体基板上に形成されている。これらの3つの要素により整調可能な統合共振器が提供される。

【0005】本発明に関連のあるもう一つのものは、超

音波学、強誘電体学および周波数制御に関するIEEE会報、42[3] (1995年5月) ヨシモトススム、サカモトマサミチ、ハシモトケンヤ、およびヤマグチマサツネ「エアギャップを採用した多層超音波トランスデューサ (Multi-Layered Ultrasonic Transducers Employing an Air Gap)」である。この論文は、エアギャップを有する多層超音波トランスデューサを開示している。

【0006】整調可能な共振器が当該技術分野で知られてはいるけれども、本発明者は、キャリア信号の振幅変調および位相変調を行うためのバルク型音波 (Bulk Acoustic Wave (BAW)) 共振器を知らない。

【0007】本発明の第1の目的は、目的の信号を振幅変調するための整調可能なバルク型音波 (BAW) 共振器を組み込んだ装置を提供することである。

【0008】本発明の第2の目的は、目的の信号を位相変調するための整調可能なバルク型音波 (BAW) 共振器を組み込んだ装置を提供することである。

【0009】前記BAW共振器に印加された低周波変調信号にตอบสนองしてキャリア信号を振幅変調および位相変調するための整調可能なバルク型音波 (BAW) 共振器 (以下、「薄膜バルク型音響共振器 (Thin Film Bulk Acoustic Resonator (FBAR)) 」ともいう) を組み込んだ装置によって前述の課題およびその他の課題が解決され、本発明の目的が実現される。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の1つの特徴に従って、圧電層、第1および第2保護層、第1電極、第2電極、ブリッジ (以下、「膜」ともいう)、1対のエッチング窓、エアギャップ、および基板を有するBAW共振器が提供される。前記圧電層の一部分は前記第1電極上に位置し、前記第2電極は前記圧電層上に位置して平行板構造を形成し、その間で前記圧電層が共振または振動することができるようになっている。前記圧電層は、たとえば、酸化亜鉛 ( $ZnO$ ) からなっていて、1.7  $\mu m$  の厚さを有する。前記電極は、たとえば、金 (Au) からなっていて、0.1  $\mu m$  の厚さを有する。

【0011】本発明の好ましい実施態様では、前記膜は2つの層、すなわち上層および下層からなる。前記上層は、0.6  $\mu m$  の厚さをもっているのが好ましくてポリシリコンからなり、また、前記第1電極および前記圧電層の一部分と接触する上表面を有する。前記上層は前記の下層の一部表面上にあり、この下層は好ましくは0.4  $\mu m$  の厚さをもっていて二酸化ケイ素 ( $SiO_2$ ) からなる。

【0012】前記膜の下表面の一部分は前記エアギャップに隣接しており、これが前記膜の下表面の一部分を前記基板の一部分から分離している。このエアギャップは、前記基板の一部分をエッチングすることによって形成される。前記エアギャップは、前記エッチング窓、前

記第1保護層の一部分、前記膜の下表面の一部分、および前記基板の内面と隣接している。前記エアギャップは、圧電層により生成される音響振動を基板から絶縁する役割を果たす。

【0013】第1保護層は、0.4  $\mu\text{m}$ の厚さをもっていて $\text{SiO}_2$ からなっており、基板の上表面とエアギャップの一部分とを覆う。第2保護層は、第1保護層と、膜の一部分と、圧電層の一部分と、上側電極の一部分とを覆う。エッチング窓と、第1および第2の電極の一部分とが空気にさらされる。第2保護層は好ましくは0.2  $\mu\text{m}$ の厚さを有し、 $\text{SiO}_2$ からなる。

【0014】エッチング窓は、第1および第2の保護層の中で、膜の両側に形成される。エッチング窓を通して、膜が基板上に形成された後に、材料が基板からエッチングされてエアギャップが形成される。

【0015】本発明の他の特徴に従って、基板をエッチングする代わりに犠牲層を使用してエアギャップを作ることができる。たとえば、共振器の製造中に、膜を形成する層が蒸着される前に犠牲層が基板上に蒸着される。つぎに、共振器の全ての層が形成された後に、エッチング窓を通して犠牲層が除去されてエアギャップが形成される。この様にすれば、エアギャップを形成するために基板をエッチングする必要はなくなる。

【0016】本発明のもう一つの実施態様では、前述の実施態様のBAW共振器に似ているけれども、1つの保護層が設けられ、膜およびエアギャップが音響ミラーに置き換えられている点で前述の実施態様のBAW共振器とは異なるBAW共振器が設けられる。

【0017】本発明のもう一つの特徴に従って、圧電層と、上側電極と、下側電極と、膜と、ピアホールを有する基板とからなるBAW共振器が提供される。膜は、ピアホールに隣接する基板の部分として形成される。

【0018】本発明のもう一つの特徴に従って、バルク型音波(BAW)共振器が提供される。この方法は、

(A) 基板の選択された部分に酸化亜鉛( $\text{ZnO}$ )層を形成し、(B) ステップAによって形成された層の選択された部分に $\text{SiO}_2$ からなる第1層を形成し、(C) ステップBによって形成された層の選択された部分と基板の選択された部分とに $\text{SiO}_2$ の第2層を形成し

(D) ステップCによって形成された層の選択された部分に下側電極層を形成し、(E) ステップCおよびDで形成された層の選択された部分に圧電層を形成し、

(F) ステップC、DおよびEにより形成された層の選択された部分の上に $\text{SiO}_2$ を蒸着させ、(G) ステップFによって蒸着された $\text{SiO}_2$ の上に窒化アルミニウム( $\text{AlN}$ )を蒸着させ、(H) ステップFおよびGによって蒸着された $\text{SiO}_2$ および $\text{AlN}$ をパターン化して $\text{SiO}_2$ からなる第3の層と $\text{AlN}$ の層とをそれぞれ形成し、(I)  $\text{AlN}$ の層の選択された部分とステップEによって形成された圧電層の選択された部分とに上側

電極層を形成し、(J) ステップAによって形成された $\text{ZnO}$ 層を除去してエアギャップを形成するステップからなる。

【0019】本発明のさらに他の特徴に従って、RF (radio frequency) キャリヤ信号を振幅変調および位相変調するための回路が提供される。第1の回路は2つの回路分岐(branch)と並列に接続されたBAW共振器を包含する。その第1の分岐は、RFキャリヤ信号を発生させる第1発振器と帯域フィルターまたは高域フィルター(これは単なる低周波遮断コンデンサであってもよい)とからなる。第2の分岐は変調信号を発生させるための第2発振器と低域フィルター(これは単なるRFチョークであってもよい)とからなる。この発振器は、印加された低周波信号にตอบสนองして周波数を変化させる並列共振器および直列共振器を有する。

【0020】前記回路を使用してRF信号を振幅変調する応用例では、前記回路はつぎのように作動する。すなわち、発振器は或る周波数を有するRFキャリヤ信号を発生させるが、その周波数は、共振器が極小の位相シフト応答を示す周波数範囲の中にある。RFキャリヤ信号が発生した後、該RFキャリヤ信号は帯域フィルターによって濾波され、つぎに低周波遮断コンデンサに印加され、このコンデンサは随伴するDC信号を全て除去する。

【0021】第2の発振器は、可変電圧源であって、時間がたつに連れて変化する電圧を有する低周波のDC変調信号を発生させる。この信号は低域フィルターによって濾波された後にRFチョークに印加され、このRFチョークは随伴するRF信号を全て遮断する。このRFチョークは、前記共振器を構成する回路の残りの部分にその低周波信号を供給する。

【0022】低周波信号が回路の残りの部分を進むとき、この信号の影響として共振器の両電極間に時間とともに変化する電圧がかかる。この電圧は、前記電極間に位置する圧電物質の中に、変化する電界を生じさせる。この電界は、その電圧の極性に応じて圧電物質を収縮または膨張させて、直列共振周波数および並列共振周波数を時間とともに変化させるとともに共振器が示すインピーダンスを時間とともに変化させる。この変化に起因してRFキャリヤ信号の強度が、時間とともに変化する量だけ減衰されることとなり(すなわち、この信号は、時間に依存して変化するそう入損を被る)、その結果として前記キャリヤ信号が振幅変調されたことになる。

【0023】第2の回路は第1の回路のそれと同様の要素からなっているけれども、共振周波数は回路内で直列に接続されていて、追加のコイル(たとえば、低周波信号に接地を供給するRFチョーク)が回路に含まれている点で異なっている。第2の回路も信号を振幅変調する。

【0024】この第1および第2の回路を用いてキャリ

ヤ信号を位相変調することもできる。その用途のために、前記回路は振幅変調のばあいと同様に作動する。しかし、第1の回路のために、並列接続されている共振器の並列共振周波数に好ましくはほぼ等しい周波数を有するRFキャリアが発生する。この周波数は、該共振器に対する変調低周波信号の影響の結果として前記共振器が最大の位相シフト応答をすることとなる周波数である。従って、キャリア信号を共振器に印加すると該信号の位相がシフトする。同様に、共振器が直列に接続されている第2回路のために、該共振器の直列共振周波数にほぼ等しい周波数を有するRF信号が発生される。この周波数は、変調低周波信号にตอบสนองして前記共振器が最大位相シフトを生じさせる周波数である。この様に、RFキャリア信号を前記共振器に印加すると該キャリア信号の位相シフトが生じる。

#### 【0025】

【発明の実施の形態】つぎに、本発明の装置について図面を参照しつつ説明する。

【0026】図2は、本発明の共振器の一実施態様に従って構成されている薄膜バルク型音波共振器（以下、「BAW共振器」または「FBAR」という）20を示す横断面説明図および平面説明図である。図2（a）は、図2（b）のA-A線断面説明図である。BAW共振器20は、圧電層22、第1保護層38b、第2保護層38a、第1電極24、第2電極26、膜28、エッチング窓40a、40b、エアギャップ34、および基板36からなっている。圧電層22の一部分は第1電極24の上に位置し、第2電極は圧電層22の一部表面上に位置する。この様に、電極24および26は平行板構造を形成しており、その間で圧電層22が共振または振動することができるようになっている。

【0027】圧電層22は、たとえば酸化亜鉛（ZnO）、または窒化アルミニウム（AlN）等の、薄膜として製造することのできる如何なる圧電物質で構成されてもよい。本発明の好ましい実施態様では、圧電層22は約1.7μmの厚さを有する。

【0028】第1および第2の電極24、26は、たとえば金（Au）等の、如何なる種類の導電性物質で構成されてもよい。第1および第2の電極24、26は、各々、好ましくは0.1μmの厚さを有する。

【0029】膜（「ブリッジ」または「支持層」ともいう）28は、1つまたは複数の層からなることができる。本発明の好ましい実施態様では、膜28は、約0.6μmの厚さの上層30と、約0.4μmの厚さの下層32と、合計2つの層からなっている。上層30は、図2（a）に示されているように第1電極24および圧電層22の一部分と接触している上表面を有し、下層32の上にある。上層30は好ましくはポリシリコン（poly-Si）または窒化アルミニウム（AlN）からなり、下層32は好ましくは二酸化ケイ素（SiO<sub>2</sub>）ま

たはヒ化ガリウム（GaAs）からなる。しかし、これらの層を他の如何なる適当な物質で構成してもよい。

【0030】膜28の底面の一部分はエアギャップ34に隣接しており、該エアギャップは基板36の一部分の中に形成されている。エアギャップ34は膜28の底面のその部分を基板36の一部分から分離させている。エアギャップ34は、エッチング窓40a、40b（後述されている）、第1保護層38bの一部分（後述されている）、膜28の底面、および基板36の内面36b、36c、36dと境を接している。エアギャップ34は、圧電層22により作られる信号を基板36から音響的に絶縁するように働く。基板36は、たとえば、ケイ素（Si）、SiO<sub>2</sub>、GaAs、またはガラスなど、どのような適当な材料からでも構成しうるものである。

【0031】第1保護層38bは、基板36の上表面36aとエアギャップ34の一部分とを覆っている。第2保護層38aは、図2（a）および2（b）から分かるように、（1）第1保護層38bと、（2）膜28の一部分と、（3）圧電層22の一部分と、（4）上側電極26の一部分とを覆っている。エッチング窓40a、40b、および第1および第2の電極24、26の一部分は空気にさらされている。好ましくは、第1保護層38bはSiO<sub>2</sub>からなっていて0.4μmの厚さを有し、第2保護層38aはSiO<sub>2</sub>からなっていて0.2μmの厚さを有する。

【0032】図2（a）および2（b）を検討すれば分かるように、エッチング窓40a、40bは膜28の両側で第1および第2保護層38a、38bの中に形成されている。エッチング窓40a、40bは、共振器20の製造中に作られる。膜の層が基板22の上に蒸着された後に、エッチング窓40a、40bを通して基板36の一部分がエッチングされてエアギャップ34が形成される。

【0033】本発明の他の特徴に従って、基板36をエッチングする代わりに犠牲層39を使用してエアギャップ62を作ることができる。図25は、本発明の共振器の他の実施態様を示す説明図である。図25において、図2と同一の箇所は同じ符号を用いて示す。たとえば、図25を参照すると、図2（a）に示されているものと似ているBAW共振器21が示されていて、犠牲層39が追加されている。共振器21の製造中に膜28が蒸着される前に犠牲層39が基板36の上に蒸着される。共振器21の全ての層が形成された後に、犠牲層39はエッチング窓40a、40bを通して除去されてエアギャップ34が形成される。この様にすれば、エアギャップ34を作るために基板をエッチングする必要はなくなる。従って、たとえば、SiO<sub>2</sub>、GaAs、ガラス、およびセラミック材料を含むいろいろな種類の材料からなる基板を使用することができる。

【0034】共振器20、21の各々について、第1お

よび第2の電極24、26間に電圧が印加されると、これらの第1および第2の電極24、26間に電界が生じて圧電層22を振動させる。圧電層22により作られた音響振動は、振動している圧電層22から膜の層30、32を通して伝播する。膜28とエアギャップ34との間の境界に達した振動は、この境界により膜28の中へ反射される。この様にして、エアギャップ34は圧電層22により作られた振動を基板から絶縁する。

【0035】図26は、本発明の共振器の他の実施態様を示す説明図である。図26において、図2と同一の箇所は同じ符号を用いて示す。図26に示されている本発明の装置の他の実施態様では、BAW共振器23が示されている。この共振器23は、前述の実施態様のそれと似ている構造をもっているけれども、単一の保護層38aが設けられていて、膜28およびエアギャップ34（図25参照）が音響ミラー70と置き換えられている点で異なっており、この音響ミラーは圧電層22により作られた振動を基板36から音響的に絶縁する。この共振器23は「堅実に取り付けられた共振器（Solidly Mounted Resonator(SMR)）」ともいう。

【0036】保護層38aは、たとえば $0.2\mu\text{m}$ の厚さの $\text{SiO}_2$ からなる。音響ミラー70は1つ以上の層で構成されうる。本発明の好ましい実施態様では、音響ミラー70は3つの層、すなわち上層70a、中層70b、および下層70cからなるが、追加の層を設けてもよい。各層70a、70b、70cは、たとえば、波長の四分の一にほぼ等しい厚さを有する。本発明の好ましい実施態様では、上層70aおよび下層70cは、たとえば、ケイ素(Si)、ポリシリコン、アルミニウム(A1)、またはポリマーなどの、音響インピーダンスの低い材料で構成される。本発明の好ましい実施態様では、中層70bは、たとえば、金(Au)、モリブデン(Mo)、またはタングステン(W)などの、音響インピーダンスの高い材料で構成される。このような物であるので、中層70bの音響インピーダンスは上層70aの音響インピーダンスより大きい。同様に、中層70bの音響インピーダンスは下層70cの音響インピーダンスより大きい。圧電層22が振動するとき、それにより生じた振動は層70a、70b、70cによって基板34から実質的に絶縁される。この様に振動が絶縁されるので、基板34は、たとえば、Si、 $\text{SiO}_2$ 、GaAs、ガラスまたはセラミック材料などのインピーダンスの低い材料で構成されることができる。

【0037】BAW共振器20は、構造的に頑丈であり、製造歩留まりを高くし、包装を容易にすることを可能にするものである。また、この共振器は小型なので、ウェーハ上にコンパクトな共振器のレイアウトを設けることが可能となる。

【0038】本発明の別の実施態様では、共振器80が設けられる。この共振器80の横断面が図3に示されて

いる。図3は、本発明の共振器の他の実施態様を示す断面説明図である。共振器80は圧電層82を有し、これは上側電極84の一部分と下側電極86の一部分との間に位置する。共振器80は、膜88と、ビアホール92を有する基板90とを有する。膜88は、(1)下側電極86の底面と、(2)圧電層82の底面の一部分と、(3)上側電極84の底面の一部分とに隣接する上表面を有する。膜88の底面は、基板90の上表面と、基板90の中に形成されているビアホール92の一部分とに隣接している。共振器80の等価回路が図4に示されている。図4は図3の等価回路を示す説明図である。図4において、 $L_m$ はインダクタンス、 $C_m$ 、 $C_o$ は容量、 $R$ は抵抗を示す。

【0039】共振器80は前述の共振器20と同様に作動し、これら両方の装置がエアインターフェース（すなわち、共振器20（図2参照）のエアギャップ34と共振器80（図3参照）のビアホール92）によって、それぞれの圧電層22、82により作られた音響振動を反射する。これらの共振器20、80の主な差違は、それぞれのエアインターフェースを作るために使用される方法である。たとえば、共振器80の製造工程では、材料が蒸着されて上側電極84、下側電極86、圧電層82、および膜88の各々が形成された後、ビアホール92を形成するために基板の一部分が基板90の下からエッチングにより除去される。

【0040】膜88は、たとえば、poly-Siまたは $\text{SiO}_2$ で構成されうる。圧電層82、電極84、86、および基板90は、共振器20のそれぞれの対応する構成要素と同様の材料で構成されうる。ビアホール92のサイズは、共振器80の表面積と基板90の厚さとに依存する。たとえば、共振器80が $200\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ の表面積をもっていて、基板90が $500\mu\text{m}$ の厚さのSiで構成されているばあい、ビアホール92の表面積はほぼ $900\mu\text{m} \times 900\mu\text{m}$ である。

【0041】図示されていない本発明の他の実施態様では、共振器80と同じ要素を有する共振器が供給される。しかし、本発明のこの実施態様では、膜は設けられず、下側電極の底面と、圧電層の底面の一部分と、上側電極の底面の一部分とは基板の上表面とビアホール部分上に直接置かれる。

【0042】図5は、本発明の共振器のさらに他の実施態様を示す説明図であり、共振器80'は、上側電極84'、圧電層82'、下側電極86'、および基板90'からなっており、この基板はビアホール92'と膜（基板90'のうち上下方向の厚さが薄くなっている部分）88'とを有する。これらの要素は、相対的に、共振器80のそれぞれの対応する要素と同様に配置されているけれども、膜88'が、基板の、圧電層82'の一部分と下側電極86'の一部分との下に位置する部分によって形成されている点では異なっている。膜88'

は、たとえば、上で述べたのと同様にして基板90'の下から基板材料をエッチングすることによって基板材料を除去することによって形成される。しかし、膜88'を形成するために、基板90'の、圧電層82'の一部分と下側電極86'の一部分とに隣接する部分は製造工程中にエッチングされずに残される。共振器80'は図3の共振器80と同様に作動する。

【0043】すでに知られている種類の共振器(たとえば、水晶共振器など)と同様に、前述の共振器は、各々、2つの別々の共振周波数、すなわち直列共振周波数および並列共振周波数を示す。これらの共振周波数は、共振器を形成する個々の層の厚さと、それらの層を形成する材料の音響インピーダンスとにより決まる。たとえば、厚さの薄い共振器は、それより厚い共振器が示す共振周波数より高い共振周波数を示す。

【0044】また、低い音響インピーダンスを有する材料からなる層を有する共振器は、それより高い音響インピーダンスを有する層からなる共振器より高い周波数で共振する。たとえば、図2(a)に示されている構造と同様の構造をもっていて、2μmの厚さのZnOからなる圧電層22と0.4μmの厚さのSiからなる下層32とを有する共振器は、同様の材料からなっているけれども0.4μmの厚さのSiO<sub>2</sub>からなる下層32を有する共振器より高い周波数で共振する。それは、SiがSiO<sub>2</sub>より低い音響インピーダンスを有するので、縦モードの音波がSi中ではSiO<sub>2</sub>中より速い速度で進行するからである。

【0045】また、他の共振器と比べて薄い圧電層と厚い膜とを有する共振器は、他の共振器より小さな実効結合係数(effective coupling coefficient)を有するとともに、周波数スペクトル上で他の共振器より互いに近い直列共振周波数および並列共振周波数を有する。この\*

＊様なものであるので、本発明のBAW共振器を1個または数個フィルターに使用する応用例では、そのフィルターは狭い帯域幅を示しうる。

【0046】本発明のBAW共振器は、各々、該共振器の表面積に対応する特性音響インピーダンスをもっている。たとえば、広い表面積を有する共振器は、それより狭い表面積を有する共振器より低い特性音響インピーダンスを有する。

【0047】これまでに本発明の特徴を幾つか説明したが、つぎに本発明の別の特徴、すなわちBAW共振器を製造する工程について説明する。図20は、製造中の本発明の共振器の一例を示す説明図である。図20(a)は図20(c)のB-B線断面説明図であり、図20(d)は図20(c)のC-C線断面説明図である。基板42とZnO層44とのいろいろな断面が示されている図20(a)~20(d)を見ると、この工程の始めのステップが分かる。図20(a)に示されている例では、基板42はガラスで構成されていて100nmの厚さを有する。製造工程の第1ステップとして、基板42の上にZnOがスパッタリングされる。つぎに第1マスク層(図示せず)を使ってZnOをウェットエッチングによりパターン化することによって、表1に示されているように、使用されるウェーハの種類に応じてたとえば800nmから1000nmまでの厚さを有する「クッション(cushion)」を形成する。その後、ZnOをエッチングすることにより、ZnOの側面部を形成する緩やかに傾斜するクッション縁部(クッション縁部44a、44bが図示されている)を形成する。この様にして、第1のZnO層44が形成される。

【0048】

【表1】

表 1

ウェーハ	ZnO クッションの厚さ
Z11	940nm
Z12	970nm
Z13	1470nm
Z14	710nm
Z15	845nm

【0049】つぎに、第1のZnO層44の上にSiO<sub>2</sub>(たとえば、PECVD法によるSiO<sub>2</sub>)が蒸着される。つぎに、第2マスク層(図示せず)を用いて、蒸着されたSiO<sub>2</sub>をフッ素プラズマ(以下、「Fプラズマ」という)中でエッチングによりパターン化する。つぎに、保護フォトリソを酸素プラズマ中で除去す

る。このパターン化のステップは「整調層」46または「第1のSiO<sub>2</sub>層」を形成する。この整調層46は図20(b)に示されていて、使用されるウェーハの種類に応じて表2に示されている種々の代表的な厚さをもつことができる。

【0050】

【表2】

表 2

ウェーハ	厚さ
Z11	240nm
Z12	250nm
Z13	260nm
Z14	270nm
Z15	280nm

【0051】つぎのステップとして、整調層46と基板の選択された部分との上に $\text{SiO}_2$ （たとえばPECVD法による $\text{SiO}_2$ ）を蒸着させて、たとえば400nmの厚さを有する第2の $\text{SiO}_2$ 層48を形成する。明瞭な記述を提供するという目的のために、製造工程に関する明細書の以下の残りの部分においては、 $\text{SiO}_2$ からなる整調層46および層48をまとめて「 $\text{SiO}_2$ 層48'」という。また、図20(c)~24(c)では、これらの層には一括して参照符「48'」が付されている。

【0052】製造工程のつぎのステップは、たとえばモリブデン(Mo)等の金属元素を $\text{SiO}_2$ 層48'の上にスパッタリングする作業を含む。つぎに、このMoをFプラズマ中で第3マスク層を用いてエッチングによりパターン化して、下側電極の第1層部分（以下、「第1下側電極部分」という）50を形成する。このパターン化ステップは、第1下側電極部分50の側面部50bが $\text{SiO}_2$ 層48'の上表面の角の縁部48aから水平方向に約20 $\mu\text{m}$ の距離だけ隔てられることとなるように行われる。このことは、図22(c)のHで示される領域の共振器構造を拡大して示す図22(d)を検討すれば分かる。第1下側電極部分50の周辺の外側に位置する $\text{SiO}_2$ 層48'も、必要に応じてエッチングすることができる。また、たとえば薄い金のフィルム（図示せず）で第1下側電極部分50を覆うこともできる。

【0053】図21(a)~21(c)を参照する。図21は、製造中の本発明の共振器の他の例を示す説明図である。図21(a)は図21(b)のD-D線断面説明図であり、図21(c)は図21(b)のE-E線断面説明図である。つぎのステップは、第1下側電極部分50と $\text{SiO}_2$ 層48'の選択された部分との上に高温でZnOをスパッタリングする操作を含む。つぎに第4マスク層を用いて、このZnOをウェットエッチングでパターン化して、たとえば2060nmの厚さを有する第2のZnO層52（すなわち、圧電層）を形成する。このパターン化ステップは、好ましくは、第2のZnO層52の上表面が、たとえば、400 $\mu\text{m}$ の幅を有する

こととなるように行われる。図21(b)の共振器のE-E線断面を示す図21(c)を検討すればこのことが分かる。また、このパターン化ステップは、好ましくは、第2のZnO層52の底面が共振器の他の構成要素から特定の距離だけ隔てられた縁部を有することとなるように行われる。たとえば、図21(c)を参照すると、第2のZnO層52の縁部52bは、 $\text{SiO}_2$ 層48'の角の縁部48aから水平方向に約40 $\mu\text{m}$ の距離だけ隔たることとなるように形成されている。また、たとえば、図22(d)をもう一度参照すると、第2のZnO層52の縁部52bは、第1下側電極部分50の側面部50bから水平方向に約20 $\mu\text{m}$ の距離だけ隔たることとなるように形成されている。また、第1下側電極部分50の側面部50bは $\text{SiO}_2$ 層48'の角の縁部48bから水平方向に約25 $\mu\text{m}$ の距離だけ隔たっている。

【0054】製造工程のつぎのステップは、第2のZnO層52の選択された部分と、 $\text{SiO}_2$ 層48'の選択された部分と、第1下側電極部分50の選択された部分との上に $\text{SiO}_2$ （たとえば、PECVD法による $\text{SiO}_2$ ）を蒸着する作業を含む。その後、エッチングストップ層をうるために、新たに蒸着された $\text{SiO}_2$ 層の上にAlNを蒸着させる。つぎに第5のマスク層（酸化物保護膜(oxide passivation)）を用いて、新たに蒸着されたAlNおよび $\text{SiO}_2$ をFプラズマ中でのウェットエッチングによってパターン化して、図22(a)~22(d)に示されているように、AlN層56（黒塗りの線を参照）と第3の $\text{SiO}_2$ 層54とをそれぞれ設ける。図22は、製造中の本発明の共振器の他の例を示す説明図である。図22(a)は図22(b)のF-F線断面説明図であり、図22(c)は図22(b)のG-G線断面説明図である。また、図22(d)は図22(c)のHで示される領域を拡大して示す説明図である。第3の $\text{SiO}_2$ 層は、たとえば、300nmの厚さを有する。AlN層56は、たとえば、500nmの厚さを有する。第1下側電極部分50がダメージを受けないことを保証するために、わずかな過エッチングが行わ



れるに過ぎないことに注意しなければならない。このパターン化ステップの結果として、第2のZnO層52の上表面の一部分52aと第1下側電極部分50の上表面の一部分50a(図22(a)参照)とが空気にさらされることとなる。また、このパターン化ステップにより、層54、56の一部分が除去されて、SiO<sub>2</sub>層48'の上表面の一部分が空気にさらされることとなる。たとえば、図22(d)を参照すると、このパターン化ステップによって、層54、56の側面54a、54bが形成される。側面54a、54bは互いに水平方向に約30μmの距離だけ隔たっている。従って、開口部A'およびB'('エッチング窓'ともいう)がこの構造の圧電層52の両側に形成されて、SiO<sub>2</sub>層48'の上表面の一部分が空気にさらされることになる。

【0055】図21(c)および22(d)に示されている各部寸法割合は、共振器構造の寸法割合の一実施態様であって、本発明の範囲を限定することを意図したものではない。寸法は図22(d)に示されている共振器の部分のみについて示されているけれども、それらの寸法は図22(d)に示されていない共振器の類似の部分をも代表するべきものである。

【0056】図23(a)~23(c)を参照すると、製造工程のさらなるステップが分かる。図23は、製造中の本発明の共振器の他の例を示す説明図である。図23(a)は図23(b)のI-I線断面説明図であり、図23(c)は図23(b)のJ-J線断面説明図である。上側電極58と下側電極の第2層部分(以下、「第2下側電極部分」という)60とは、(a)第2のZnO層52の選択された部分と、AlN層56の選択された部分と、第1下側電極部分50の選択された部分との上にモリブデン(Mo)をスパッタリングし、(b)第6マスク層(図示せず)を用いてFプラズマ中でエッチングを行うことにより、スパッタリングされたMoをパターン化することによって形成される。上側電極58と、第2下側電極部分とは、たとえば、300nmの厚さを有する。その後、第1のZnO層46のクッション部(たとえば、クッション縁部44a、44b)を覆っているSiO<sub>2</sub>層48'の選択された部分が深い(deep)エッチングにより除去される。第3のSiO<sub>2</sub>層54はAlN層56によって保護され続ける。つぎに保護フォトリソが酸素プラズマ中で除去される。つぎのステップは、保護フォトリソ上でのスピニングと、第7マスク層(図示せず)でのエッチングによるそのパターン化とでピアホール41、43(図24(b)参照)を形成する作業を含む。図24は、製造中の本発明の共振器の他の例を示す説明図である。図24(a)は図24(b)のK-K線断面説明図であり、図24(c)は図24(b)のL-L線断面説明図である。

【0057】つぎに必要なに応じてチップ間またはウェーハ間でのこ引きを行うこと(sawing)によりさいの目状

に溝を形成し、その後たとえばアセトン中でフォトリソを除去する。また、図24(a)~24(c)を参照すると、希釈したHAc+H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>中で開口部A'、B'をエッチングすることによって第1の(クッション)ZnO層46を除去してエアギャップ62を形成する。製造工程のこれらのステップが完了した後、試験装置で共振器の動作特性を試験することができる。また、必要に応じて、Fプラズマ中でエッチングを行うことによってモリブデンの一部を上側電極58と第2下側電極部分60とから除去することができる。これらのステップが完了すると、前記、溝に沿って割ることによりウェーハをチップ化することができる。

【0058】つぎに本発明の別の特徴について説明する。たとえばコンデンサ等の、電圧依存素子を有する回路に含まれている共振器は並列共振周波数または直列共振周波数を示し、その周波数は、その電圧依存素子にDCバイアスがかけられると変化するということが知られている。その様な2つの回路の例が図6および8に示されている。たとえば、図6は、共振器114および能動素子116が直列に接続されているコンデンサ112を含む従来の回路110を示す説明図である。図8は、共振器114の等価回路と直列に接続されているコンデンサ112を含む従来の回路113を示す説明図である。これらの回路110、113の可変電圧コンデンサ112のDCバイアスを変化させると、直列に接続されているコンデンサ112のキャパシタンスの値が変化する。その結果として、これらの回路が示す直列共振周波数がシフトする。しかし、共振器114は無バイアス状態にとどまり、共振器114の等価回路要素(すなわち、直列誘導子、直列コンデンサ、直列抵抗器、および並列コンデンサ)は一定の値を有する。従って、前記回路の共振周波数の変化は主として可変電圧コンデンサ112のDCバイアスの変化のみの影響として生じるということが分かる。

【0059】回路113の直列共振周波数Fsを次式のように定義することができる。

【0060】

$$F_s = 1 / (2 \cdot \pi / (L_s \cdot C_{tot}))$$

ここで、Lsは共振器114の等価回路直列誘導子を表し、Ctotは共振器114の等価回路直列コンデンサ(Cs)とコンデンサ(Ctun)112との組み合わせキャパシタンスを表し、Ctot=Cs・Ctun/(Cs+Ctun)である。

【0061】共振器114の直列共振周波数より低い周波数では、共振器114はコンデンサのように振る舞う。共振器114の直列共振周波数より高い周波数では、共振器は誘導子のように振る舞う。従って、回路110、113の直列共振周波数を共振器114の特性共振周波数より高い方へシフトさせることができるが、それより低い方へシフトさせることはできないということ

が分かる。これらの周波数は共振器114の並列共振周波数に限定される。

【0062】コンデンサと並列に接続されている共振器を有する回路の例が図9に示されている。図9は、コンデンサ112と並列に接続されている共振器114の等価回路を含む従来の回路113aを示す説明図である。この回路113aの共振器114は、コンデンサ112にDCバイアスがかかけられ、その結果としての電圧が共振器114の両端間にかかる、その並列共振周波数のシフトを示す。このシフトに起因して共振器114は、その電圧がかかっていないときに共振器114が示すものとは異なる並列共振周波数をもつこととなる。

【0063】回路113aの並列共振周波数は、共振器114の特性並列共振周波数より低い周波数へ整調されるに過ぎない。その周波数の下限は共振器114の直列共振周波数である。

【0064】この説明の目的上、印加された電圧にตอบสนองしてシフトする直列共振周波数および並列共振周波数を有するBAW共振器を「整調可能な共振器」と称する。

【0065】本発明のBAW共振器は、該共振器の両端間に印加されたDCバイアス電圧にตอบสนองして、その並列共振周波数および直列共振周波数、ならびにそのインピーダンスをシフトさせる。このシフトはつぎのように生じる。すなわち、1つの共振器の電極にバイアス電圧が印加されると、そのバイアス電圧の作用(function)に従う強さを有する電界が前記電極間に位置する圧電材料(圧電層)の中に生じる。その電界は、バイアス電圧の極性に応じて圧電材料を膨張または収縮させる。その結果として、圧電材料は、印加されたDCバイアス電圧の効果が無いときに圧電材料が示すものとは異なる特別の自動的(mechanical)共振周波数、特別のインピーダンス、ならびに特別の並列共振周波数および直列共振周波数を示す。従って、時間に依存する可変電圧の発生源からDCバイアス電圧が供給されるばあいには、変化するバイアス電圧が共振器に印加されると電界はその変化する電圧の作用によって変化する。その結果として、圧電材料は、時間とその変化する電圧との作用によって変化する周波数で共振し、その変化する電圧の作用として変化するインピーダンスを示す。バイアス電圧は、圧電材料と関連するパラメータに対しても影響を及ぼす可能性がある。それらのパラメータも共振周波数に影響を及ぼす可能性がある。

【0066】また、DCバイアス電圧が変化した結果として、本発明のBAW共振器は、その変化するバイアス電圧の作用として変化する特定の周波数で最大の位相シフト応答を示す。

【0067】図7および10に示されている回路と、図11、12、および13とを検討すればBAW共振器が示すインピーダンス、利得、および位相「シフト」特性を理解することができる。たとえば、図7は、共振器1

14を包含する回路110aを示す説明図であり、この共振器は、印加されたバイアス電圧にตอบสนองしてそのインピーダンスならびに並列共振周波数および直列共振周波数をシフトさせるとともに、特定の周波数で最大の位相シフト応答を示す。同様に、図10は、図7の回路と同様の特性を示す共振器114(たとえば、BAW共振器)の等価回路を含む回路113cを示す説明図である。図11は、印加された負のバイアス電圧(-V)、バイアス電圧無(0V)、正のバイアス電圧(+V)(たとえば-2.8ボルト、0ボルト、+2.8ボルトのバイアス電圧)にตอบสนองする代表的な1ポートBAW共振器を用いて測定された位相曲線および振幅曲線を示すグラフである。周波数は942MHzから952MHzに及ぶ。図11において、バイアス電圧が負のときの位相曲線をイ、バイアス電圧が0のときの位相曲線をロ、バイアス電圧が正のときの位相曲線をハ、バイアス電極が負のときの振幅曲線をニ、バイアス電圧が0のときの振幅曲線をホ、バイアス電圧が0のときの振幅曲線をヘとして示す。なお、のちに示される図12~18においても同様に示す。なお、図11~図18において、縦軸(右側)は位相(°)を示し、横軸は周波数(Hz)を示す。また、図11~13において、縦軸(左側)は入力インピーダンス( $\Omega$ )を示し、図14~18において、縦軸(左側)は利得(dB)を示す。図12は、図11の曲線の一部を示しており、とくに該曲線の、BAW共振器の直列共振が生じる部分を示すグラフである。図13は、図11の曲線の、BAW共振器の並列共振が生じる部分を示すグラフである。

【0068】本発明の整調可能なBAW共振器は、種々の用途に利用されるものである。たとえば、前記共振器の1つまたは数個を、電圧制御される発振器のための電圧依存フィードバック素子として、または集積された発振器における周波数制御素子として使用することができる。1個または数個のBAW共振器を用いて、整調可能な中心周波数を有するフィルターを作ることができる(たとえば、デュアルモード用)。この用途のために、帯域フィルターを前記共振器と統合することができる。前記共振器の並列共振周波数と直列共振周波数とは実質的に一定の帯域幅で隔てられているので、この用途に利用される共振器は、前記フィルターにほぼ一定の帯域幅をもたせることを可能にする。さらに、BAW共振器は完全に集積化可能な装置であるので、該共振器を使用することのできるフィルターおよび電圧制御発振器のサイズを小さくすることができる。

【0069】これらの用途に加えて、本発明者は、周波数信号(たとえば、KHzないしMHzの領域)をBAW共振器に印加するとき、該共振器を用いて、それより高いRFキャリア信号を振幅変調または位相変調することができることを確認した。RFキャリア信号を振幅変調または位相変調するためにBAW共振器102が組み



込まれている回路91を示している図1(a)を検討すると、このことが分かる。図1は本発明の装置である回路の一実施態様および他の実施態様を示す説明図である。図1(a)は本発明の装置である回路の一実施態様を示す説明図である。回路91内で、共振器102は2つの回路分岐と並列に接続されている。その分岐のうちの1つは、RFキャリア信号を発生させるための発振器90と、帯域フィルタ92と、低周波遮断コンデンサ94とからなっている。第2の分岐は、変調低周波信号を発生させるための発振器96と、低域フィルタ98と、RFチョーク100とからなっている。共振器102は、たとえば図2(a)、3、および5に示されている共振器のうちの1つなどの、すでに知られているどの様な種類の共振器であってもよい。

【0070】回路91を用いてRF信号を振幅変調する応用例では、回路91はつぎのように作動する。すなわち、発振器96は、指定された時間にわたって所定の電圧範囲内で（たとえば、-30ボルト、0ボルト、および+30ボルト）変化する変調低周波信号を発生させる。この低周波信号が作られた後、この信号は低域フィルタ98によって濾波され、その後RFチョーク100に印加され、このRFチョークはRF信号を遮断する。RFチョーク100は、共振器102を有する回路91の残りの部分にその低周波信号を供給する。

【0071】この低周波信号が回路91の残りの部分を進むとき、この信号の結果として共振器102の電極102a、102bの間に電圧が印加される。その電圧は共振器102の電極102a、102bの間の圧電材料102cの中に電界を生じさせる。その電界の強さは、低周波信号に応じて共振器102に加わる時間変化する電圧の作用によって変化する。この電界は上で解説したのと同様にして圧電材料102cに影響を及ぼして該圧電材料を振動させ、これが前記共振器の直列共振周波数および並列共振周波数をシフトさせるとともに前記共振器のインピーダンスをシフトさせる。その直列共振周波数および並列共振周波数ならびにインピーダンスのシフト量は、低周波信号の電圧変化量および電界の変化量の作用による。並列共振周波数と直列共振周波数とを境界とする帯域幅は、周波数シフト時にも実質的に一定のままである。

【0072】発振器90は、印加された変調低周波信号に応じて共振器102が示す直列共振周波数および並列共振周波数の間にある周波数を有するRFキャリア信号を発生させる。好ましくは、発生されるRFキャリア信号は、前記共振器が印加された変調低周波信号に応じて最小位相シフトを示す周波数範囲の中にある周波数を有する。たとえば、図15に示されているような周波数応答（これについては後に詳しく説明する）を有する共振器では、最小位相シフトは約963MHzで生じる。同様に、図17に示されているような周波数応答（これに

ついても後述する）を有する共振器では、最小位相シフトは約978MHzで生じる。これらのばあいには理想的なキャリア信号周波数は、それぞれ、約963MHzおよび978MHzである。

【0073】このRFキャリア信号が発振器90によって発生された後、該RFキャリア信号は帯域フィルタ92によって濾波され、つぎに低周波遮断コンデンサ94に印加され、このコンデンサは、それに随伴する低周波信号を遮断する。その後、前記RFキャリア信号は、共振器102を有する回路91の残りの部分に供給される。

【0074】変調低周波信号に応じて共振器102が示すインピーダンスならびに直列共振周波数および並列共振周波数のシフトに起因して、回路91のノード95と出力ノード96との間を進むRFキャリア信号の一部分が共振器102を通過する。RFキャリア信号のこの部分の大きさは、共振器102が示す変化するインピーダンスおよび共振器に依存する。その結果として、ノード95と出力ノード96との間を進むRFキャリア信号の強度は、低周波信号の電圧変化量の作用によって時間的に変化する量だけ減衰させられる（すなわち、この信号は時間に依存して量に変化するそう入損を被る）。従って、キャリア信号が振幅変調される結果となる。たとえば、-V、0Vおよび+Vの間で変化する電圧を有する6.00kHz変調信号を介して963MHzキャリア信号を振幅変調するために、図15に示されているような周波数応答を有する共振器を使用する代表的な例では、該キャリア信号は、時間変化する約±2dBのそう入損を被る（図15についての下の説明を参照）。

【0075】図1(b)は本発明の装置である振幅変調を行うための回路の他の実施態様を示す説明図である。図1(b)に示される回路93は図1(a)に示される回路91のものと類似する要素からなっているけれども、共振器102'が回路93の中で直列に接続され、コイル104がグラウンドに接続されている点では異なっている。回路91の作動と同様に、発振器96は低周波変調信号を発生させ、発振器90は、共振器102'の直列共振周波数と並列共振周波数との間の周波数を有するRFキャリア信号を発生させる。この低周波信号は要素98、100に印加され、RFキャリア信号は要素92、94に印加され、それらは上で説明したのと同様に働く。低周波信号はつぎに共振器102'に印加され、これにより電極102a'、102b'間の圧電材料102c'に電界が生じる。この電界は、前に説明したと同様に、低周波信号の電圧変化量の作用によって共振器102'のインピーダンスならびに直列共振周波数および並列共振周波数をシフトさせる。従って、RFキャリア信号が回路93をノード95から共振器102'へ進んで共振器102'に印加された後、この信号は、時間に依存する減衰を被って、振幅変調された信号

となる。この振幅変調された信号は出力ノード96に供給される。低周波信号はコイル104を介して低周波数グラウンドへ向けられる。

【0076】上で述べたように、図1(a)の回路91を使用してキャリア信号を位相変調することもできる。この応用のために、回路91は前述の様に操作されるけれども、発振器90は、分岐接続された共振器102の並列共振周波数に好ましくはほぼ等しい周波数を有するキャリア信号を発生させる。これは、共振器102に印加された変調低周波信号の結果として、共振器102が共振してその最大位相シフトを生じさせることとなる周波数である。従って、この周波数を有する信号を共振器102に印加すると、変調低周波信号の電圧の変化量の作用に従う量だけ信号の位相がシフトする。たとえば、共振器102が図15に示されているものと同様の周波数応答曲線を有し、共振器102に印加される低周波信号が $-V$ 、 $0V$ 、および $+V$ の間で変化する電圧をもっている代表的なばあいには、約977.5MHzの周波数を有するキャリア信号に約 $\pm 28^\circ$ の位相シフトが生じる。

【0077】図1(b)の回路93を使用してキャリア信号を位相変調することもできる。この応用のために、回路93は前に説明したのと同様に作動するけれども、発振器90は、直列接続されている共振器102'の直列共振周波数に好ましくはほぼ等しい周波数のキャリア信号を発生させる。これは、共振器102'に対する低周波信号の影響の結果として、共振器102'が共振してその最大位相シフト応答を生じさせることとなる周波数である。従って、このキャリア信号を共振器102'に印加すると、変調低周波信号の電圧の変化量の作用に従う量だけ信号の位相がシフトする。この位相変調されたキャリア信号は出力ノード96に供給され、低周波信号はコイル104を介して低周波数グラウンドへ向けられる。

【0078】回路91または回路93が特定の用途において適しているかどうかは、それぞれの回路を形成する要素のインピーダンスによる。たとえば、分路接続構成の共振器(図1(a)参照)は、高インピーダンス回路のために最も効率よく作動する。

【0079】本発明のBAW共振器は、ほぼ500MHzから少なくとも3GHzに及ぶ範囲の周波数を有するRFキャリア信号を振幅変調または位相変調することができ、少なくとも $\pm 30$ dBmのRF電力レベルで動作することができる。さらに、前記共振器は、少なくとも $\pm 30$ ボルトの電圧とkHzからMHzに及ぶ範囲の中の周波数とを有する低周波数変調信号にตอบสนองして前述の変調を行うことができる。また、 $\pm 28$ ボルト、600kHzの変調低周波信号を使用するばあいにおいてキャリア信号の少なくとも5%の振幅変調が観測されている。しかし、RFキャリア信号の少なくとも30%の振

幅変調が達成可能である。本発明は、変調低周波信号の1ボルトあたりに少なくとも1°だけキャリア信号を移相することでもできる。

【0080】図14~17は、直列にまたは並列に接続されていて、特定のインピーダンスの2つのポートを有するいろいろな代表的BAW共振器の周波数応答を示す。各図で、3つの利得応答曲線は、それぞれ、負、ゼロ、正のバイアス電圧に対する振幅対周波数応答を表す。同様に、3つの位相応答曲線は、それぞれ、負、ゼロ、正のバイアス電圧に対する位相対周波数応答を表す。特定の共振器で振幅変調および位相変調を達成するための理想的キャリア信号周波数も示されている。

【0081】図14は、分岐接続されている代表的な2ポートBAW共振器の周波数応答を示すグラフである。当該ポートは、1kΩの高インピーダンスを有する。この例では、前記共振器は、2060nmの厚さのZnO層と、400nmの厚さのSiO<sub>2</sub>層とを有し、330μm×330μmの側面寸法を有する。

【0082】図15は、分岐接続されている2ポートBAW共振器の周波数応答を示すグラフである。当該ポートは高インピーダンス(たとえば、1kΩ)を有する。この例では、前記共振器は、1650nmの厚さのZnO層と、1140nmの厚さのSiO<sub>2</sub>層とを有し、330μm×330μmの側面寸法を有する。また、上で述べたように、低周波数(たとえば、600kHz)信号を前記共振器に印加すると、963MHzのキャリア信号は、約 $\pm 2$ dBの、時間変化するそう入損を被る。

【0083】図16は、直列に接続されている2ポートBAW共振器の周波数応答を示すグラフである。当該ポートは低インピーダンス(たとえば、20Ω)を有する。この例では、共振器は170μm×170μmの面積と、高インピーダンスとを有する。

【0084】図17は、直列接続されている代表的な2ポートBAW共振器の周波数応答を示すグラフである。当該ポートは低インピーダンス(たとえば、50Ω)を有する。この例では、前記共振器はほぼ50Ωのインピーダンスに相当する232μm×232μmの面積を有する。また、この例では、低周波(たとえば、600kHz)信号を前記共振器に印加すると、978MHzの周波数を有するキャリア信号は、時間に依存する約 $\pm 3$ dBのそう入損を被る。

【0085】図18は、印加された(たとえば+28V、0V、および-28Vの)DCバイアス電圧に対する、直列接続されている共振器の周波数応答を示すグラフである。図19は、周波数が951MHzのRFキャリア信号と、周波数が600kHzで振幅が8Vppの低周波数変調信号とに対する前記共振器の測定された利得応答を示すグラフである。図19において、縦軸は利益(dB)、横軸は周波数(Hz)を示す。図19に示されているように、600kHzでサイドバンドスパイ

ク (Sideband spikes) が生じる。

【0086】本発明を、その好ましい実施態様によって詳しく図示し説明をしたけれども、本発明の範囲から逸脱せずにその形や細部を変更しうることを当業者は理解するであろう。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の装置である回路の一実施態様および他の実施態様を示す説明図である。

【図2】本発明の共振器の一実施態様に従って構成されているBAW共振器を示す説明図である。

【図3】本発明の共振器の他の実施態様を示す断面説明図である。

【図4】図3の等価回路を示す説明図である。

【図5】本発明の共振器のさらに他の実施態様を示す説明図である。

【図6】共振器および能動素子が直列に接続されているコンデンサを含む従来の回路を示す説明図である。

【図7】共振器を包含する回路を示す説明図である。

【図8】共振器の等価回路と直列に接続されているコンデンサを含む従来の回路を示す説明図である。

【図9】コンデンサと並列に接続されている共振器の等価回路を含む従来の回路を示す説明図である。

【図10】図7の回路と同様の特性を示す共振器の等価回路を含む回路を示す説明図である。

【図11】印加されたバイアス電圧に応答する代表的な1ポートBAW共振器を用いて測定された位相曲線および振幅曲線を示すグラフである。

【図12】図11の曲線の、BAW共振器の直列共振が生じる部分を示すグラフである。

【図13】図11の曲線の、BAW共振器の並列共振が生じる部分を示すグラフである。

【図14】分岐接続されている代表的な2ポートBAW共振器の周波数応答を示すグラフである。

\*【図15】分岐接続されている2ポートBAW共振器の周波数応答を示すグラフである。

【図16】直列に接続されている2ポートBAW共振器の周波数応答を示すグラフである。

【図17】直列接続されている代表的な2ポートBAW共振器の周波数応答を示すグラフである。

【図18】印加されたDCバイアス電圧に対する、直列接続されている共振器の周波数応答を示すグラフである。

10 【図19】RFキャリア信号と低周波数変調信号とに対する共振器の測定された利得応答を示すグラフである。

【図20】製造中の本発明の共振器の一例を示す説明図である。

【図21】製造中の本発明の共振器の他の例を示す説明図である。

【図22】製造中の本発明の共振器の他の例を示す説明図である。

【図23】製造中の本発明の共振器の他の例を示す説明図である。

20 【図24】製造中の本発明の共振器の他の例を示す説明図である。

【図25】本発明の共振器の他の実施態様を示す説明図である。

【図26】本発明の共振器の他の実施態様を示す説明図である。

【符号の説明】

20 バルク型音波共振器

22 圧電層

24、26 電極

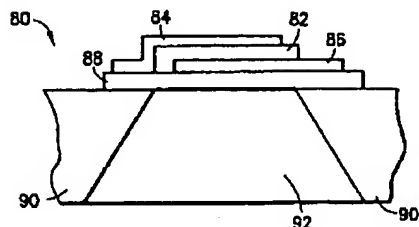
28 膜

34 エアギャップ

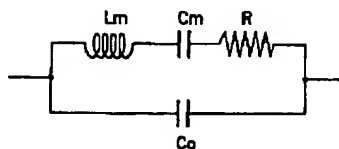
36 基板

\* 40 a、40 b エッチング

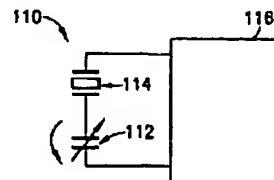
【図3】



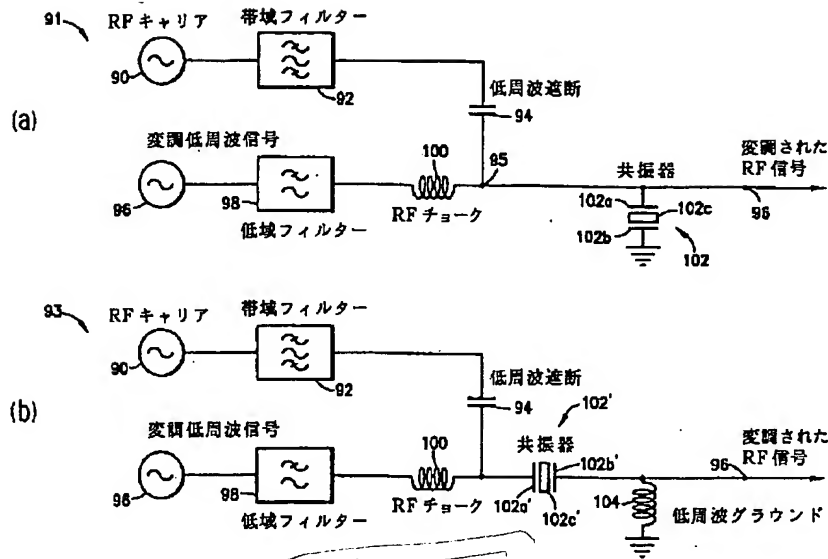
【図4】



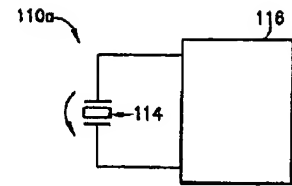
【図6】



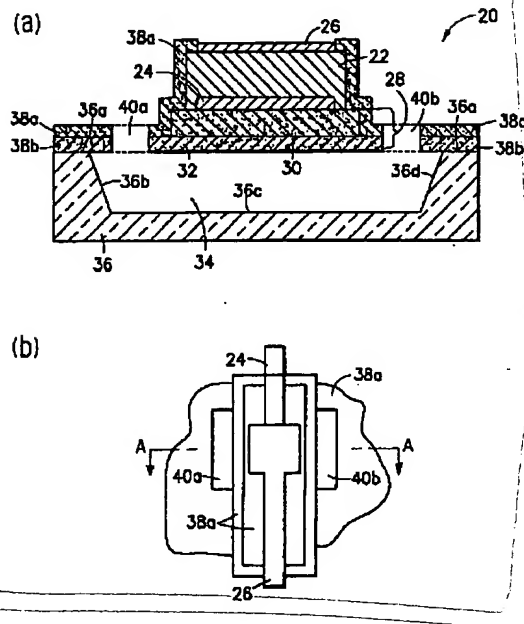
【図1】



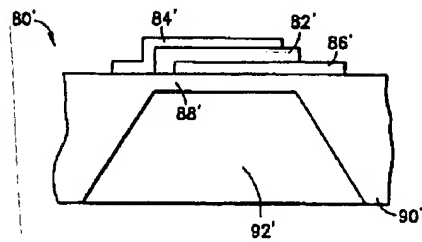
【図7】



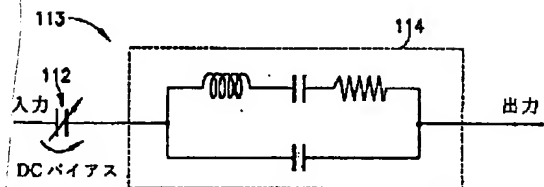
【図2】



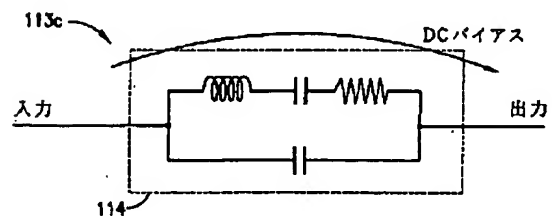
【図5】



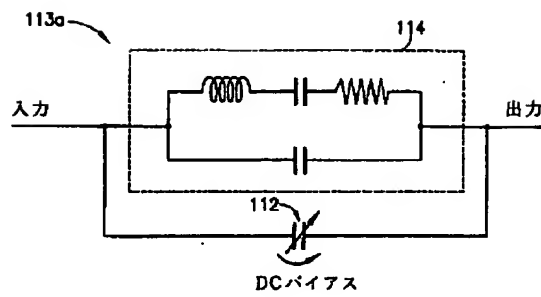
【図8】



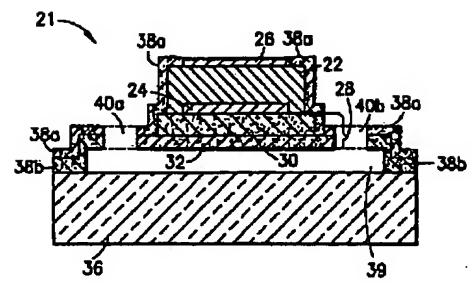
【図10】



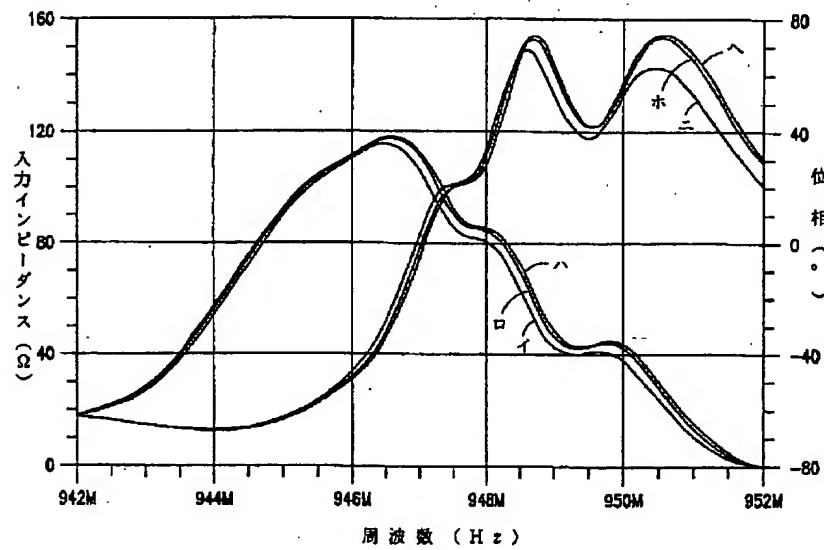
【図9】



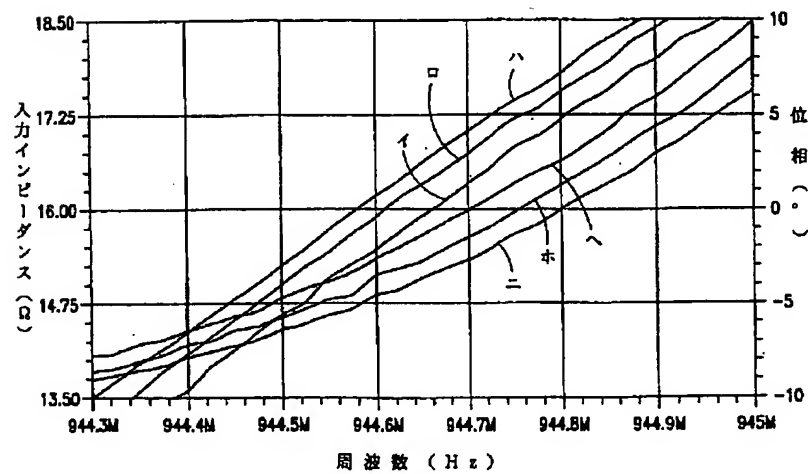
【図25】



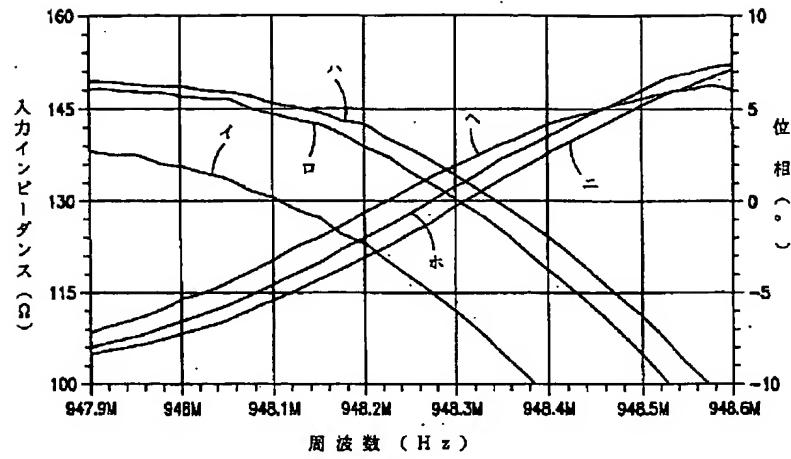
【図11】



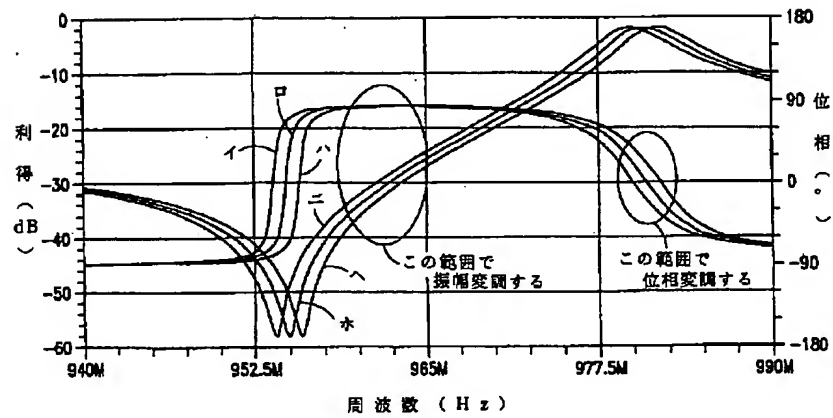
【図12】



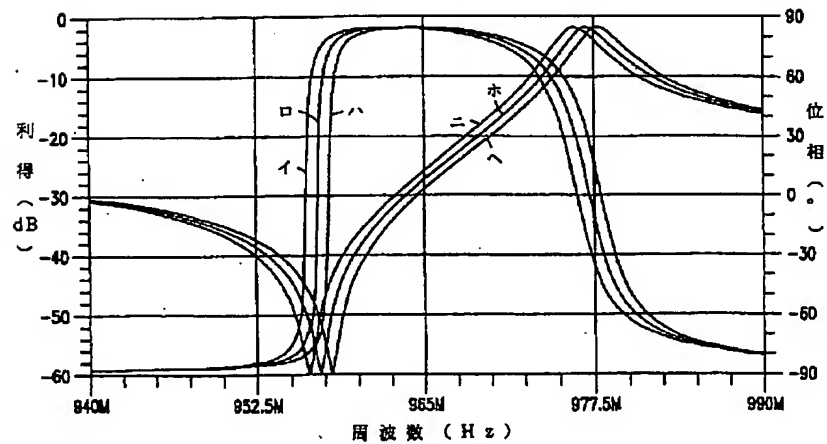
【図13】



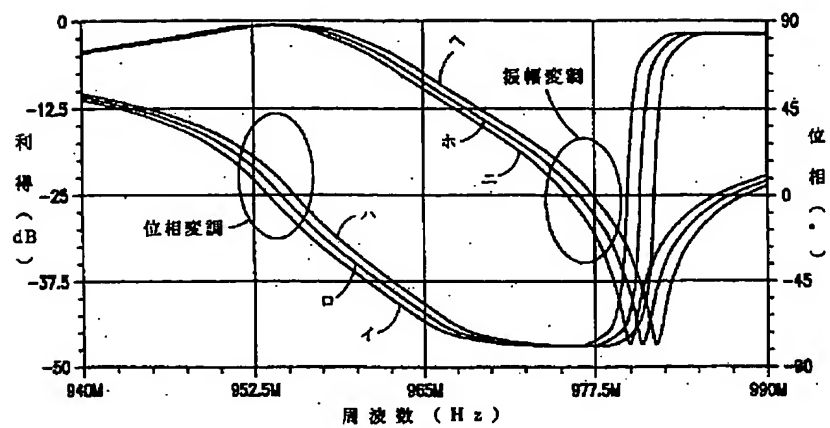
【図14】



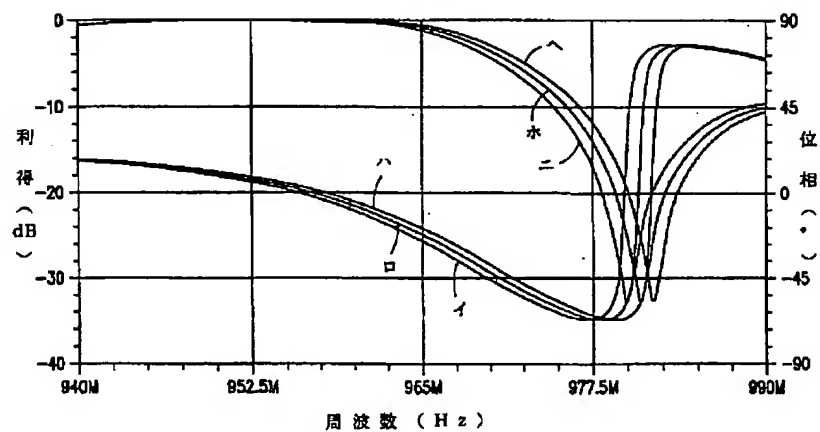
【図15】



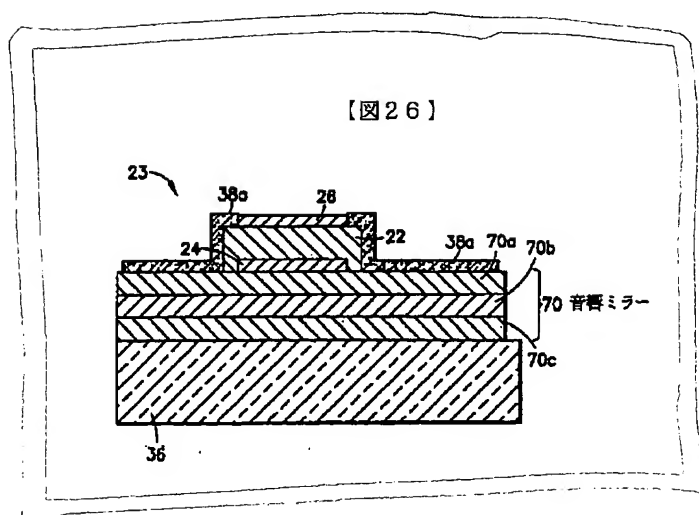
【図16】



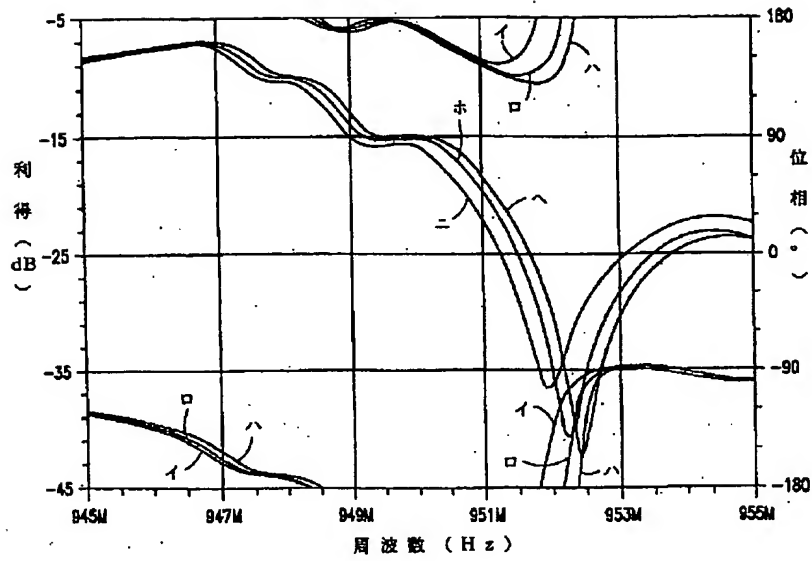
【図17】



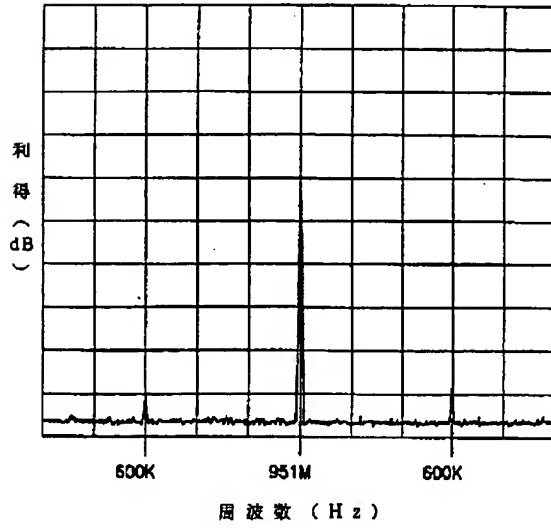
【図26】



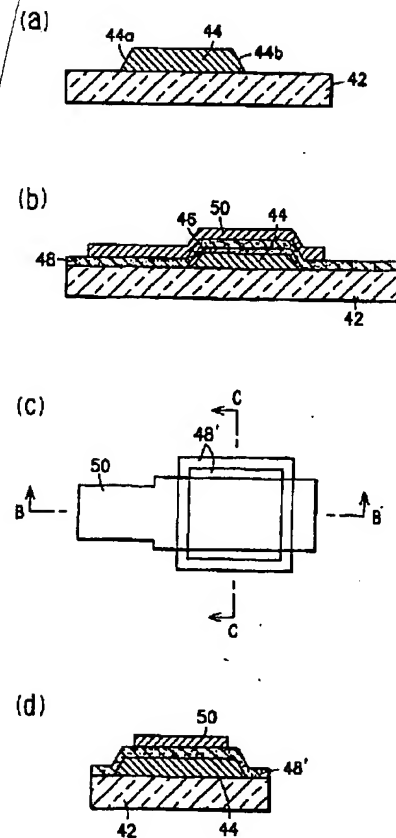
【図18】



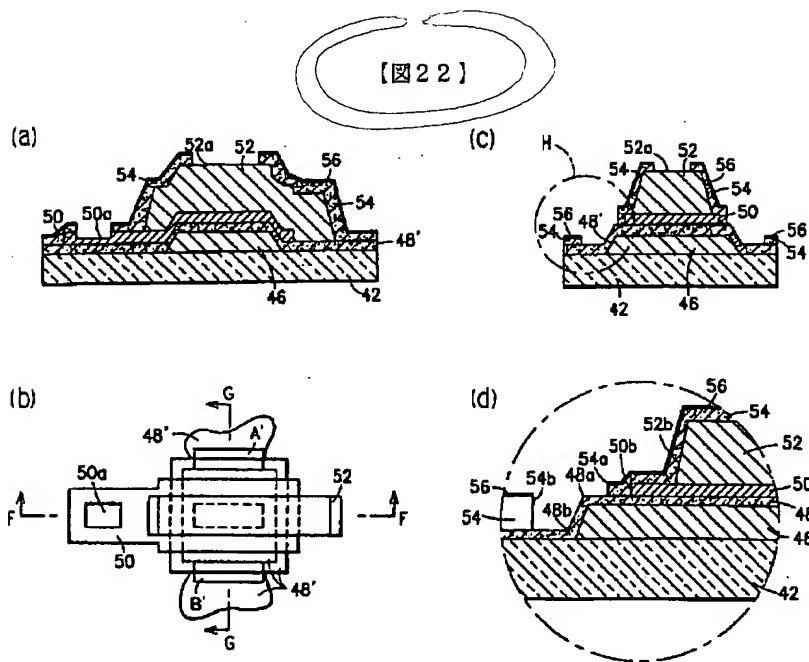
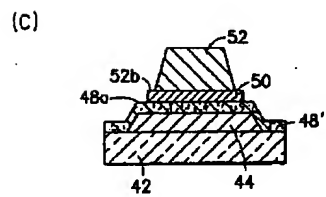
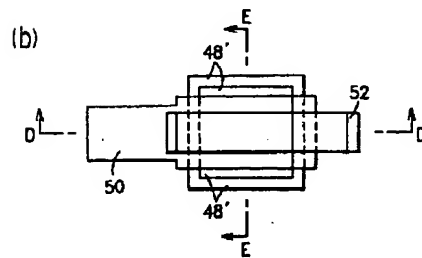
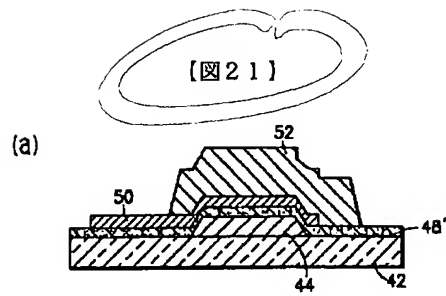
【図19】



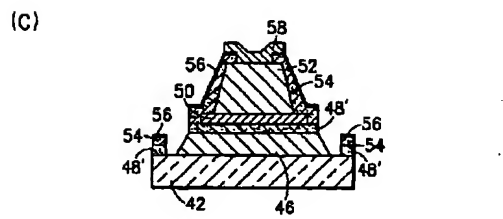
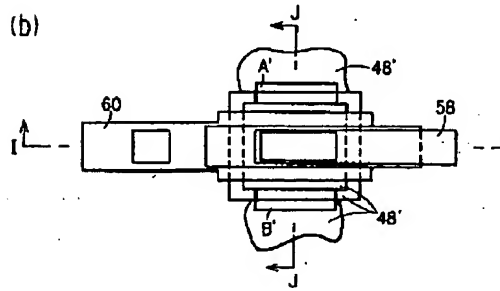
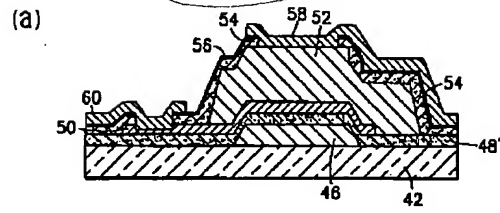
【図20】



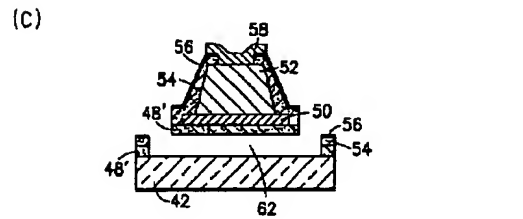
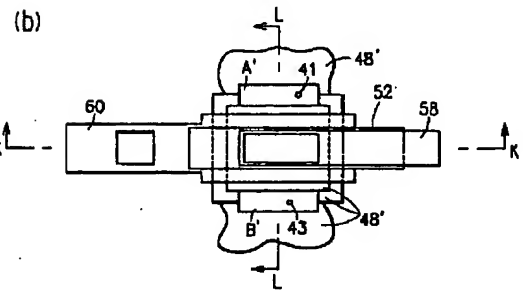
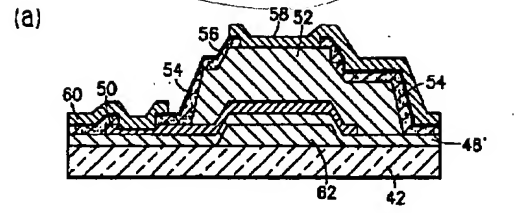




【図23】



【図24】



## BEST AVAILABLE IMAGES

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER:

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**